

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
11 janvier 2001 (11.01.2001)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 01/03171 A1

(51) Classification internationale des brevets²: H01L 21/20,
21/762

(21) Numéro de la demande internationale:

PCT/FR00/01828

(22) Date de dépôt international: 29 juin 2000 (29.06.2000)

(25) Langue de dépôt:

français

(26) Langue de publication:

français

(30) Données relatives à la priorité:

99/08379

30 juin 1999 (30.06.1999) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US): COM-
MISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/FR];
31-33, rue de la Fédération, F-75752 Paris 15ème (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement): ASPAR,

Bernard [FR/FR]; 110 Lotissement le Hameau des
Ayes, F-38140 Rives (FR). BRUEL, Michel [FR/FR];
Presvert n°9, F-38113 Veurey (FR). MORICEAU, Hubert
[FR/FR]; 26, rue du Fournet, F-38120 Saint Egrève (FR).

(74) Mandataire: LEHU, Jean; Brevatomie, 3, rue du Docteur
Lancereaux, F-75008 Paris (FR).

(81) États désignés (national): JP, KR, US.

(84) États désignés (régional): brevet européen (AT, BE, CH,
CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT,
SE).

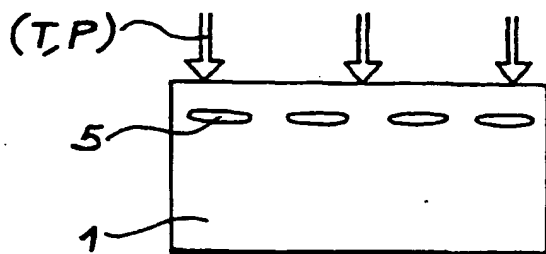
Publiée:

— Avec rapport de recherche internationale.

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abrégia-
tions, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et
abrégiactions" figurant au début de chaque numéro ordinaire de
la Gazette du PCT.

(54) Title: METHOD FOR MAKING A THIN FILM USING PRESSURISATION

(54) Titre: PROCEDE DE REALISATION D'UN FILM MINCE UTILISANT UNE MISE SOUS PRESSION



(57) Abstract: The invention concerns a method
for making a thin film from a solid material
substrate (1) having a planar surface (2) which
consists in: implanting gaseous species in the
substrate (1) to form a layer of microcavities
located at a depth relative to said planar surface (2)
corresponding to the desired thickness for the film,
the gaseous species being implanted in conditions
capable of embrittling the substrate at the layer of
microcavities; partially or completely separating
the thin film from the rest of the substrate (1), said
separation comprising a step which consists in
supplying thermal energy and applying pressure
on said planar surface (2).

(57) Abrégé: L'invention concerne un procédé de
réalisation d'un film mince à partir d'un substrat (1)

de matériau solide présentant une face plane (2), comprenant : l'implantation d'espèces gazeuses dans le substrat (1) pour constituer une couche de microcavités située à une profondeur par rapport à ladite face plane (2) correspondant à l'épaisseur du film mince désiré, les espèces gazeuses étant implantées dans des conditions susceptibles de fragiliser le substrat au niveau de la couche de microcavités, la séparation partielle ou totale du film mince du reste du substrat (1), cette séparation comportant une étape d'apport d'énergie thermique et d'application de pression sur ladite face plane (2).



WO 01/03171 A1

**PROCEDE DE REALISATION D'UN FILM MINCE UTILISANT UNE
MISE SOUS PRESSION**

Domaine technique

5

La présente invention concerne un procédé de réalisation d'un film mince de matériau solide. Elle concerne en particulier la réalisation d'un film mince d'un matériau semi-conducteur tel que par exemple le silicium.

10

Etat de la technique antérieure

Le document FR-A-2 681 472 (correspondant au brevet américain 5 374 564) décrit un procédé de fabrication de films minces de matériau semi-conducteur. Ce document divulgue que l'implantation d'un gaz rare et/ou d'hydrogène dans un substrat en matériau semi-conducteur est susceptible de créer une couche de microcavités ou des microbulles (encore désignées par le terme "platelets" dans la terminologie anglo-saxonne) à une profondeur voisine de la profondeur moyenne de pénétration des ions implantés. Ce substrat est mis en contact intime, par sa face implantée avec un support servant de raidisseur. En outre, un traitement thermique est appliqué à une température suffisante pour induire une interaction (ou coalescence) entre les microcavités ou les microbulles conduisant à une séparation du substrat semi-conducteur en deux parties : un film mince semi-conducteur adhérent au raidisseur d'une part, le reste du substrat semi-conducteur d'autre part. La séparation a lieu au voisinage de l'endroit où les microcavités ou microbulles sont présentes, c'est-à-dire le long de la couche de microcavités. Le traitement thermique est tel

35

que l'interaction entre les microbulles ou microcavités créées par implantation induit une séparation entre le film mince et le reste du substrat. Il y a donc transfert d'un film mince depuis un substrat initial
5 jusqu'à un raidisseur servant de support à ce film mince.

Ce procédé peut également s'appliquer à la fabrication d'un film mince de matériau solide autre qu'un matériau semi-conducteur (un matériau conducteur
10 ou diélectrique), cristallin ou non. Ce film peut être monocouche ou multicouche

Ainsi, l'implantation d'espèces gazeuses est apte à créer en profondeur des cavités ou microbulles ou microfissures qui vont former une couche
15 fragilisée au voisinage de la profondeur à laquelle les ions s'arrêtent. En fonction de la nature et des conditions d'implantation, la zone implantée est plus ou moins fragile. Elles sont choisies de façon que la surface implantée du substrat ne présente aucune
20 déformation. Si des déformations de cette surface apparaissent, sous forme de cloques (ou "blisters" en anglais), ces déformations traduisent une trop forte fragilisation de la zone implantée.

Le document FR-A-2 681 472 enseigne que,
25 pour obtenir le report d'un film mince sur un support, il est nécessaire de solidariser le substrat implanté et le support (ou raidisseur) avant de provoquer la séparation du film mince d'avec son substrat d'origine, cette séparation pouvant résulter d'un traitement
30 thermique et/ou d'un traitement mécanique (comme l'enseigne le document FR-A-2 748 851). La solidarisation est obtenue par la mise en contact intime du substrat implanté et du support par l'intermédiaire d'un collage par adhésion moléculaire,
35 d'une colle ou à l'aide d'un composé intermédiaire

(couche isolante, couche conductrice, etc.). Cette solidarisation n'est possible que si la surface implantée ne possède pas de déformation, donc si des cloques ne sont pas apparues.

5 Dans certains cas, il n'est pas possible de solidariser le substrat implanté et le support servant de raidisseur, notamment à cause de coefficients de dilatation thermique différents. Il arrive aussi que les forces de collage ne sont pas suffisantes pour
10 provoquer l'effet raidisseur. Il faut donc, pour obtenir un film mince par exemple monocristallin sur un support quelconque, utiliser un procédé dérivé de celui divulgué par le document FR-A-2 681 472, comme par exemple le procédé divulgué par le document
15 FR-A-2 738 671 (correspondant au brevet américain 5 714 395). Selon ce procédé, pour obtenir la séparation du film mince de son substrat d'origine, il faut que les espèces gazeuses implantées se trouvent à une profondeur suffisante et/ou que l'on dépose, après
20 l'étape d'implantation, une couche d'un matériau permettant de rigidifier la structure pour obtenir la séparation au niveau de la zone implantée. Le film obtenu est alors autoporté.

Pour les deux procédés mentionnés ci-dessus, la rugosité de surface du film mince après transfert est plus ou moins forte, selon les conditions d'implantation et/ou de séparation (traitement thermique et/ou mécanique) utilisées pour obtenir cette séparation. Il peut alors être intéressant de
30 fragiliser de façon plus importante la zone contenant les cavités. Il serait ainsi possible d'obtenir la séparation de façon plus facile que dans le cas habituel, c'est-à-dire que la séparation pourrait se faire à l'aide de forces mécaniques plus faibles et/ou
35 à l'aide d'un budget thermique plus faible. Cela est

particulièrement intéressant pour des structures composées de matériaux ayant des coefficients de dilatation thermique différents et qui présentent des températures limites de chauffage.

5 Parmi les différents moyens permettant de fragiliser la zone implantée on peut citer l'augmentation de la dose des espèces gazeuses implantées et/ou la réalisation d'un traitement thermique qui peut correspondre au traitement thermique
10 divulgué dans le document FR-A-2 681 472. Cependant, comme indiqué plus haut, il faut limiter la dose implantée et/ou le budget thermique avant l'étape de solidarisation pour éviter des déformations de la surface implantée.

15 Ainsi, il n'existe pas de moyen acceptable pour fragiliser davantage la zone implantée avant de mettre en œuvre l'étape de séparation. L'existence d'un tel moyen permettrait de diminuer les budgets thermiques et/ou les forces mécaniques permettant la
20 séparation. On pourrait ainsi reporter des films minces sur des supports ne supportant pas les températures élevées en utilisant le procédé divulgué par le document FR-A-2 681 472. On pourrait également obtenir de façon plus facile la séparation de films épais en
25 utilisant le procédé divulgué par le document FR-A-2 738 671. Ces films épais pourraient ensuite être reportés sur tout type de support, même ceux qui ne permettent pas d'obtenir des forces de collage importantes entre le film et le support. En outre, une
30 fragilisation plus importante de la zone implantée permettrait, tout en favorisant la fracture, de diminuer la rugosité de la surface libre du film après transfert.

Le problème posé est donc de parvenir à fragiliser davantage la zone implantée sans induire de cloques sur la surface implantée du substrat d'origine.

5 Exposé de l'invention

L'invention apporte une solution à ce problème. Il est proposé d'appliquer une pression sur la face implantée du substrat, au moins pendant une
10 partie de la coalescence des microcavités, afin de favoriser cette coalescence et d'empêcher les espèces gazeuses implantées de s'échapper du substrat. On augmente ainsi la fragilisation.

L'invention a donc pour objet un procédé de
15 réalisation d'un film mince à partir d'un substrat de matériau solide présentant une face plane, comprenant :

- l'implantation d'espèces gazeuses dans le substrat pour constituer une couche de microcavités située à une profondeur par rapport à ladite face plane
20 correspondant à l'épaisseur du film mince désiré, les espèces gazeuses étant implantées dans des conditions susceptibles de fragiliser le substrat au niveau de la couche de microcavités,

- la séparation partielle ou totale du film
25 mince du reste du substrat, cette séparation comportant une étape d'apport d'énergie thermique et d'application de pression sur ladite face plane.

Le document "Mechanistic Studies of Silicon Wafer Bonding and Layer Exfoliation" de M.K. WELDON et
30 al., paru dans Electrochemical Society Proceedings, volume 97-36, précise que l'utilisation d'une contrainte compressive sur une structure collée, constituée d'un substrat implanté et d'un raidisseur, permet de fermer les microfissures et d'éviter
35 l'exfoliation alors qu'une tension externe uniforme

peut conduire à l'exfoliation à plus basse température. Il mentionne également que l'application d'une pression uniforme à plus faibles températures peut permettre un développement des microfissures plus uniforme de telle façon qu'en relâchant la pression et en chauffant, une exfoliation plus uniforme peut être obtenue. Dans ce document, la pression appliquée permet l'obtention de microfissures homogènes mais ne renseigne pas sur l'augmentation de la fragilisation de la zone implantée par l'augmentation de la taille des microfissures. Ainsi, dans ce document, pour obtenir l'exfoliation il faut relâcher la pression et chauffer à une température a priori supérieure à celle utilisée pour l'application de la pression. Dans ce document, la pression appliquée n'est pas utilisée contrairement à l'invention pour augmenter la fragilisation de la zone implantée et donc pour diminuer le budget thermique et/ou les forces mécaniques permettant l'obtention du film mince. De plus, selon la présente invention, la séparation peut être obtenue sous pression. En outre, selon un mode avantageux de l'invention, la pression appliquée peut être ajustée en cours de procédé suivant l'évolution des phases gazeuses présentes dans les microcavités.

On entend par espèces gazeuses des éléments, par exemple d'hydrogène ou de gaz rares, sous leur forme atomique (par exemple H) ou sous leur forme moléculaire (par exemple H₂) ou sous leur forme ionique (par exemple H⁺, H₂⁺) ou sous leur forme isotopique (par exemple deutérium) ou sous forme isotopique et ionique.

Par ailleurs, on entend par implantation ionique tout type d'introduction des espèces définies précédemment, seul ou en combinaison, tel que le bombardement ionique, la diffusion, etc.

L'énergie thermique conduit, quel que soit le type de matériau solide, à la coalescence des

microcavités ou microfissures, ce qui amène une fragilisation de la structure au niveau de la couche de microcavités. Cette fragilisation permet la séparation du matériau sous l'effet de contraintes internes et/ou
5 de pression dans les microcavités, cette séparation pouvant être naturelle ou assistée par application de contraintes externes.

L'application de pression permet de favoriser la coalescence des microcavités tout en évitant la formation de cloques sur la face plane.
10 Cette pression dépend de l'état de contrainte de la zone implantée.

Par séparation partielle, on entend une séparation comportant des points d'attache entre le
15 film mince et le reste du substrat.

Ladite pression peut être une pression gazeuse et/ou une pression mécanique produite par exemple par un piston. Elle peut être appliquée de manière localisée ou de manière uniforme sur la face
20 plane.

Le procédé peut comprendre en outre, après l'implantation des espèces gazeuses, la solidarisation d'un épaisseur sur ladite face plane. L'épaisseur peut être constitué par une plaquette qui est, par
25 exemple, solidarisée par collage moléculaire avec ladite face plane. L'épaisseur peut aussi être constitué par un dépôt d'un ou de plusieurs matériaux. La pression peut alors être appliquée par l'intermédiaire de l'épaisseur. Cet épaisseur
30 joue le rôle de raidisseur. Dans ce cas, la pression permettant de favoriser la coalescence des microcavités et d'éviter la formation de cloques tient compte de l'épaisseur. En effet, celui-ci peut induire des contraintes sur la structure, favorisant la coalescence
35 des microcavités.

Avantageusement, au cours de la réalisation de la coalescence d'au moins une partie des microcavités, ladite pression est ajustée pour rester légèrement au-dessus d'une pression, dite pression
5 limite, au-dessous de laquelle il y a apparition de cloques sur ladite face plane et au-dessus de laquelle il n'y a pas apparition de cloques sur ladite face plane. Ceci permet d'éviter l'application de suppressions inutiles.

10 La pression limite évolue dans le temps avec l'évolution de la coalescence des microcavités. Aussi, la pression utilisée selon l'invention peut être la pression limite maximale ou être une pression limite appliquée progressivement durant le procédé et qui
15 varie en fonction de la coalescence des microcavités qui dépend en particulier du budget thermique (temps, température). La pression limite dépend donc du budget thermique. Ainsi par exemple pour un film de 300 nm de Si et de 5 μm de SiO_2 , pour un recuit à 450°C à durée
20 donnée, il faut appliquer une pression de l'ordre de quelques bars pour avoir la séparation alors que sans l'apport de pression, c'est-à-dire à pression atmosphérique, il est nécessaire de recuire à plus de 470°C, pour la durée donnée, pour avoir la séparation
25 et l'obtention d'un film.

La réalisation de la coalescence peut être menée de telle façon que la séparation du film mince du reste du substrat est obtenue par leur simple écartement.

30 Selon un autre mode de mise en œuvre, la séparation du film mince du reste du substrat est obtenue par l'application d'un traitement thermique et/ou par l'application de forces mécaniques.

On peut utiliser comme substrat de départ
35 un substrat ayant déjà servi pour fournir, par ledit

procédé, un film mince. Ce substrat ayant déjà servi peut être par exemple poli pour offrir une nouvelle face plane.

Eventuellement, le substrat supporte, du
5 côté de ladite face plane, une ou plusieurs couches homogènes et/ou hétérogènes. Il peut être constitué, au moins du côté de ladite face plane, d'un matériau semi-conducteur. Il peut comprendre, du côté de ladite face plane, tout ou partie d'au moins un dispositif
10 électronique et/ou d'au moins un dispositif électro-optique.

L'invention permet, par l'utilisation d'une pression, d'obtenir des films autoportés de plus faible épaisseur qu'avec un procédé sans pression. En effet,
15 la pression évite la relaxation des microcavités sous forme de cloques et permet l'interaction de ces microcavités pour conduire à la séparation.

L'invention permet également de différer la séparation du film mince par la mise en œuvre d'une
20 étape supplémentaire consistant à appliquer une surpression sur le film mince.

Brève description des dessins

25 L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages et particularités apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple non limitatif, accompagnée des dessins annexés parmi lesquels :

30 - les figures 1 à 3 illustrent de manière schématique les différentes étapes du procédé de réalisation d'un film mince selon la présente invention,

- la figure 4 est un diagramme montrant
35 l'évolution, en fonction du temps, de la pression

appliquée sur la face implantée d'un substrat au cours d'une étape du procédé de réalisation d'un film mince selon la présente invention.

5 **Description détaillée de mode de réalisation de l'invention**

Le principe mis en œuvre dans l'invention repose sur l'utilisation de la pression au cours d'un
10 ou de plusieurs traitements thermiques pour fragiliser la zone implantée tout en empêchant la formation de cloques.

La coalescence peut être réalisée en combinant un cycle de traitement thermique associé à un
15 cycle de mise sous pression de façon à pouvoir augmenter le phénomène de fragilisation sans création de cloques sur la face implantée. La pression peut être une pression de gaz. Le phénomène de fragilisation peut être mené jusqu'à la séparation totale des deux parties
20 du substrat. En effet, pendant la réalisation de la coalescence, le processus de fragilisation du substrat à la profondeur d'implantation des ions se développe et peut aller au-delà des limites qu'un simple traitement thermique permettrait. La pression appliquée sur la
25 face implantée du substrat permet ce résultat en empêchant la formation de cloques sur la face implantée et en empêchant aussi certaines cloques d'exploser comme cela peut se produire en l'absence de pression appliquée. On fragilise ainsi beaucoup le substrat le
30 long de la couche de microcavités.

Les figures 1 à 3 sont des vues transversales d'un substrat semi-conducteur auquel le procédé selon l'invention est, appliqué.

Le substrat semi-conducteur 1 présente une
35 face plane 2. Par face plane, on entend une face dont

le plan moyen est plan. Cela comprend les plaques qui présentent une micro-rugosité de surface dont les valeurs de rugosité vont de quelques dixièmes de nanomètres à plusieurs centaines de nanomètres. Les
5 inventeurs de la présente invention ont pu mettre en évidence qu'une implantation à travers une surface présentant une micro-rugosité, par exemple d'une valeur RMS (valeur quadratique moyenne) de 10 nm, ne perturbe pas le mécanisme de fragilisation et la fracture
10 subséquente. Cette constatation est intéressante car cette rugosité est de l'ordre de grandeur de la rugosité de la face libre du film après transfert. Il est donc possible dans ces conditions de recycler plusieurs fois le même substrat sans recourir à un
15 polissage de surface. Dans certains cas, cette face peut avoir une topologie qui sera éliminée au cours de la préparation de surface par exemple par polissage mécano-chimique.

La figure 1 illustre l'étape d'implantation
20 d'espèces gazeuses. La face plane 2 est bombardée par exemple par des ions d'hydrogène, comme l'enseigne le document FR-A-2 681 472. Ce bombardement ionique est figuré par les flèches 3. On crée ainsi une couche de microcavités 4.

25 Eventuellement, le procédé selon l'invention peut comprendre une opération d'épaississement du film mince désiré. On peut par exemple, après l'étape d'implantation, rapporter par collage par adhésion moléculaire, ou par un autre type
30 de collage, une plaquette sur la face implantée du substrat. On peut pour cela utiliser un équipement qui permet la mise en contact du substrat et de la plaquette dans une enceinte sous pression. L'application d'une pression sur la face plane du

substrat peut alors se faire simultanément avec le collage de la plaquette d'épaississement.

Cette opération d'épaississement est avantageuse à réaliser en utilisant un procédé dérivé de celui divulgué dans le document FR-A-2 738 671. On peut par exemple déposer sur la face plane du substrat un ensemble de matériaux pour le rigidifier. Ces dépôts peuvent être des croissances épitaxiales ou hétéroépitaxiales ou des dépôts de matériaux amorphes ou polycristallins. A titre d'exemple, du silicium peut être déposé sur la face plane d'un substrat déjà implanté. Qu'il soit collé ou déposé, le matériau rapporté peut être qualifié d'épaisseur.

Pour des conditions expérimentales données (matériaux, ions, dose, énergie, température d'implantation et de recuit), pour chaque épaisseur de film mince (épaissi ou non) il existe une valeur limite pour la pression appliquée sur la face plane du substrat ou P_{limite} au-dessous de laquelle il y a apparition de cloques sur la face plane et au-dessus de laquelle il n'y a pas apparition de cloques sur la face plane. Par exemple, P_{limite} vaut 20 bars pour une épaisseur totale de 2 μm de silicium et vaut la pression atmosphérique pour 5 μm de silicium. Il est donc possible, lors de la réalisation de l'étape de coalescence selon l'invention, d'ajuster la pression au fur et à mesure du déroulement de l'étape pour que celle-ci reste au voisinage de P_{limite} . Ceci permet d'éviter l'application de surpressions inutiles.

P_{limite} est aussi fonction de la quantité restante d'espèces gazeuses introduites lors de l'implantation ionique. Cette quantité de gaz peut évoluer au cours du temps du fait de la diffusion du gaz, activée en particulier par la température, et du fait de la croissance des microcavités qui contiennent

ce gaz. La pression limite permet d'éviter la formation de cloques mais ne doit pas limiter la croissance des cavités ou microfissures présentes au voisinage de la profondeur d'implantation. Lorsque les micro-fissures
5 augmentent de taille, la même quantité de gaz occupe un volume plus grand et en conséquence P_{limite} diminue. Il est ainsi possible de déterminer une étape de réalisation de la coalescence telle que la pression exercée et la pression limite suivent chacune un cycle
10 commençant à la pression atmosphérique et y revenant. La pression effectivement exercée reste supérieure ou égale à la pression limite. On récupère ainsi en fin de cycle, à la pression atmosphérique, une couche fragilisée.

15 Sous certaines conditions il est aussi possible que la séparation totale du substrat en deux parties intervienne durant l'étape de réalisation de la coalescence. Le cycle est alors terminé.

20 La figure 2 illustre l'étape de réalisation de la coalescence des microcavités par apport d'énergie thermique T et application de pression P . La pression appliquée correspond par exemple au cycle du diagramme de la figure 4, représentant l'évolution de la pression P en fonction du temps t . La pression appliquée suit le
25 cycle pression atmosphérique (P_{atm}) - pression limite (P_{limite}) - pression atmosphérique (P_{atm}). Les micro-cavités ont tendance à coalescer pour former des microfissures 5.

30 La figure 3 illustre l'étape de séparation à l'issue de laquelle un film mince 6 est détaché du reste du substrat 1. Deux cas peuvent se présenter à l'issue de l'étape précédente : le film peut ne pas être totalement séparé du substrat ou en être totalement séparé.

Le procédé peut être mené de façon que le film mince ne soit pas totalement séparé de son substrat d'origine. Dans ce cas, le film mince peut être par exemple récupéré grâce à un support raidisseur, comme l'enseigne le document FR-A-2 681 472, rendu solidaire de la face implantée du substrat. Grâce à l'invention, cette récupération est plus facile car la fragilisation de la zone implantée est plus grande. Ceci signifie que les budgets thermiques nécessaires sont plus faibles et/ou que l'énergie d'arrachement nécessaire est plus faible. L'avantage d'un budget thermique (temps et/ou température) plus faible est la possibilité d'associer des matériaux ayant des coefficients de dilatation thermique différents. L'avantage d'une énergie d'arrachement plus faible est la possibilité de choisir une énergie de liaison du raidisseur plus faible, ce qui peut permettre la séparation ultérieure plus aisée du film mince et du raidisseur conformément à l'enseignement du document FR-A-2 725 074.

Ce substrat raidisseur peut être par exemple une plaque de silicium, un film souple par exemple en polymère, une céramique. La plaque peut être solidarisée sur le raidisseur à l'aide de colle ou par adhésion moléculaire, par l'intermédiaire éventuellement d'une couche d'interface par exemple en SiO_2 .

Le procédé peut être mené de façon que le film mince soit totalement séparé de son substrat d'origine. Le collage d'un support raidisseur n'est pas forcément nécessaire. On peut obtenir un film autoporté comme l'enseigne le document FR-A-2 738 671. Cependant, grâce à l'invention les films minces peuvent être obtenus pour des épaisseurs, beaucoup plus faibles. A titre d'exemple, dans le cas du silicium monocristallin l'énergie minimum requise pour l'implantation ionique

est de 500 keV selon le document FR-A-2 738 671. Grâce à l'invention, l'application d'une pression de 20 bars permet d'abaisser l'énergie d'implantation minimum (pour se passer de raidisseur) à environ 150 keV. Il
5 est alors possible d'utiliser des implanteurs standard.

A titre d'exemple, on va maintenant décrire l'obtention d'un film de silicium selon la présente invention. La face plane d'un substrat de silicium est bombardée par des protons à une dose susceptible de
10 conduire à l'apparition de cloques sur la face bombardée au cours d'un traitement thermique à 500°C. Cette dose peut être de l'ordre de 10^{17} cm⁻² pour une énergie d'implantation de 150 keV. Dans une première phase, on réalise un traitement thermique classique
15 pour activer le mécanisme de croissance des microcavités (par exemple à 250°C pendant 2 heures). Dans cette première phase, l'application d'une pression n'est pas nécessaire car la coalescence des microcavités n'est pas suffisante pour conduire à la
20 formation de cloques détectables : la pression limite est inférieure ou égale à la pression atmosphérique. Dans une deuxième phase, la face implantée du substrat est mise sous pression (20 bars) et la température est élevée de 300 à 400°C en 15 minutes pour rester
25 stationnaire pendant 1 heure. On obtient alors la séparation totale entre les deux parties du substrat. La température est alors abaissée et la pression est ramenée à la pression atmosphérique. Le film mince peut alors être récupéré.

30 Dans le cas où un support raidisseur est utilisé, la fragilisation de la zone implantée est obtenue sous pression et la température est diminuée pour relaxer la pression induite par la quantité de gaz et la température. En effet, il faut tenir compte du
35 fait que la diminution de température entraîne une

nette diminution de la pression à l'intérieur des microcavités ou des microfissures.

Ce procédé de l'invention présente de nombreux avantages. Il permet d'obtenir des fractures
5 avec des rugosités plus faibles que celles obtenues avec les procédés de l'art connu. Ceci permet de diminuer l'épaisseur à enlever éventuellement par polissage, par exemple, lors de la réalisation de substrats Silicium-Sur-Isolant (substrats SOI). Le
10 polissage introduisant une dispersion d'épaisseur qui est fonction de l'épaisseur enlevée, l'invention permet de réaliser des substrats SOI plus homogènes en épaisseur. De plus, la zone perturbée après fracture étant plus faible, l'invention procure une diminution
15 du nombre de défauts résiduels dans le film mince.

La possibilité d'épaissir permet de réaliser des films plus épais, par exemple d'une dizaine de micromètres ou plus. Ces films minces peuvent servir pour fabriquer des structures SOI
20 épaisses destinées à la réalisation de dispositifs de puissance ou pour réaliser des substrats pour la fabrication de cellules solaires en "couche fine".

Le procédé de l'invention permet d'utiliser plusieurs fois le substrat d'origine après
25 éventuellement un polissage de la face révélée du substrat après le détachement du film mince.

Le procédé est applicable aux matériaux semi-conducteurs ainsi qu'aux autres matériaux monocristallins ou non.

REVENDICATIONS

1. Procédé de réalisation d'un film mince (6) à partir d'un substrat (1) de matériau solide
5 présentant une face plane (2), comprenant :

- l'implantation d'espèces gazeuses dans le substrat (1) pour constituer une couche de microcavités (4) située à une profondeur par rapport à ladite face plane (2) correspondant à l'épaisseur du film mince
10 désiré, les espèces gazeuses étant implantées dans des conditions susceptibles de fragiliser le substrat au niveau de la couche de microcavités,

- la séparation partielle ou totale du film mince (6) du reste du substrat (1), cette séparation
15 comportant une étape d'apport d'énergie thermique et d'application de pression sur ladite face plane.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite pression est une pression gazeuse.

20 3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite pression est une pression mécanique.

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que ladite pression mécanique est
25 produite par un piston.

5. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite pression est appliquée de manière localisée sur ladite face plane (2).

30 6. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite pression est appliquée de manière uniforme sur ladite face plane (2).

7. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend en outre, après l'implantation des espèces gazeuses, la solidarisation
35 d'un épaisseur sur ladite face plane (2).

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'épaisseur est constitué par une plaquette.

5 9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que la plaquette est solidarisée par collage moléculaire avec ladite face plane (2).

10 10. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'épaisseur est constitué par un dépôt d'un ou de plusieurs matériaux.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 10, caractérisé en ce que ladite pression est appliquée par l'intermédiaire de l'épaisseur.

15 12. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, au cours de la réalisation de la coalescence d'au moins une partie des microcavités, ladite pression est ajustée pour rester légèrement au-dessus d'une pression, dite pression limite, au-dessous de laquelle il y a apparition de cloques sur ladite face plane (2) et au-dessus de laquelle il n'y a pas apparition de cloques sur ladite face plane (2).

20 13. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la réalisation de la coalescence est menée de telle façon que la séparation du film mince (6) du reste du substrat (1) est obtenue par leur simple écartement.

25 14. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la séparation du film mince (6) du reste du substrat (1) est obtenue par l'application d'un traitement thermique et/ou par l'application de forces mécaniques.

30 15. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on utilise comme substrat de départ un substrat ayant déjà servi pour fournir, par ledit procédé, un film mince.

19

16. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que le substrat ayant déjà servi est poli pour offrir une nouvelle face plane.

5 17. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le substrat supporte, du côté de ladite face plane, une ou plusieurs couches homogènes et/ou hétérogènes.

10 18. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le substrat (1) est constitué, au moins du côté de ladite face plane (2), d'un matériau semi-conducteur.

15 19. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le substrat (1) comprend, du côté de ladite face plane, tout ou partie d'au moins un dispositif électronique et/ou d'au moins un dispositif électro-optique.

20 20. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la séparation du film mince est différée par la mise en oeuvre d'une étape supplémentaire consistant à appliquer une surpression sur le film mince.

25

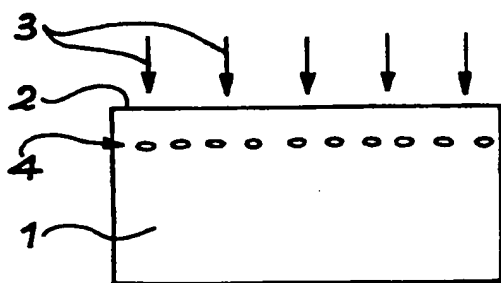


FIG. 1

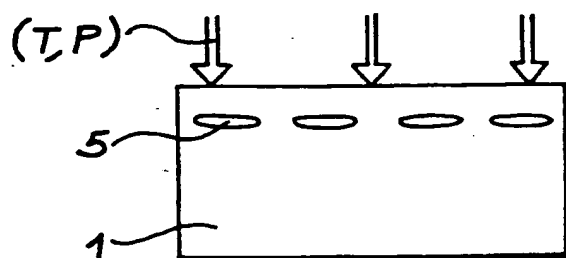


FIG. 2

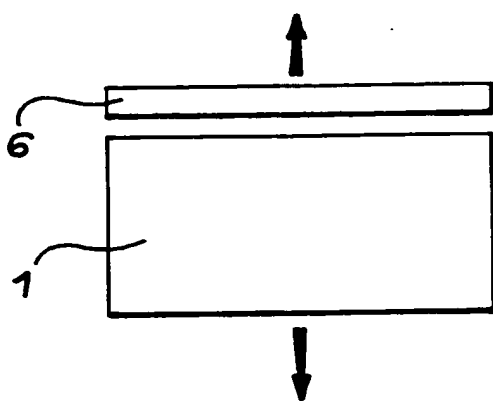


FIG. 3

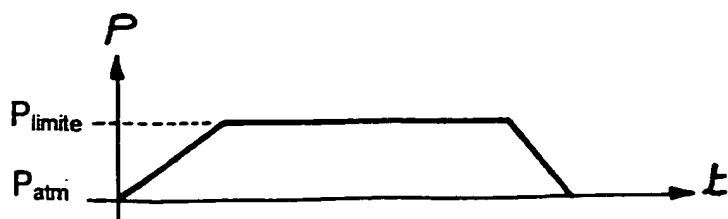


FIG. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 00/01828

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H01L21/20 H01L21/762

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, INSPEC, IBM-TDB, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|--|-----------------------|
| A | EP 0 905 767 A (SHINETSU HANDOTAI KK) 31 March 1999 (1999-03-31) the whole document | 1 |
| A | EP 0 533 551 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 24 March 1993 (1993-03-24) cited in the application the whole document | 1 |
| A | WO 98 52216 A (HENLEY FRANCOIS J ;CHEUNG NATHAN W (US); SILICON GENESIS CORP (US)) 19 November 1998 (1998-11-19) the whole document | |



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "A" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

21 August 2000

Date of mailing of the international search report

28/08/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Königstein, C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 00/01828

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|---------------------|----------------------------|---------------------|
| EP 0905767 A | 31-03-1999 | JP 11102848 A | 13-04-1999 |
| EP 0533551 A | 24-03-1993 | FR 2681472 A | 19-03-1993 |
| | | JP 3048201 B | 05-06-2000 |
| | | JP 5211128 A | 20-08-1993 |
| | | US 5374564 A | 20-12-1994 |
| WO 9852216 A | 19-11-1998 | US 5994207 A | 30-11-1999 |
| | | AU 7685198 A | 08-12-1998 |
| | | CN 1255237 T | 31-05-2000 |
| | | EP 0995227 A | 26-04-2000 |
| | | US 6013567 A | 11-01-2000 |
| | | US 6033974 A | 07-03-2000 |
| | | US 5985742 A | 16-11-1999 |
| | | US 6010579 A | 04-01-2000 |

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No
PCT/FR 00/01828

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 H01L21/20 H01L21/762

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 H01L

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, INSPEC, IBM-TDB, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

| Catégorie * | Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents | no. des revendications visées |
|-------------|---|-------------------------------|
| A | EP 0 905 767 A (SHINETSU HANDOTAI KK) 31 mars 1999 (1999-03-31) le document en entier | 1 |
| A | EP 0 533 551 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 24 mars 1993 (1993-03-24) cité dans la demande le document en entier | 1 |
| A | WO 98 52216 A (HENLEY FRANCOIS J ;CHEUNG NATHAN W (US); SILICON GENESIS CORP (US)) 19 novembre 1998 (1998-11-19) le document en entier | |

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- "Z" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

21 août 2000

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

28/08/2000

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Königstein, C

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/FR 00/01828

| Document brevet cité au rapport de recherche | Date de publication | Membre(s) de la famille de brevet(s) | Date de publication |
|---|------------------------|---|------------------------|
| EP 0905767 A | 31-03-1999 | JP 11102848 A | 13-04-1999 |
| EP 0533551 A | 24-03-1993 | FR 2681472 A | 19-03-1993 |
| | | JP 3048201 B | 05-06-2000 |
| | | JP 5211128 A | 20-08-1993 |
| | | US 5374564 A | 20-12-1994 |
| WO 9852216 A | 19-11-1998 | US 5994207 A | 30-11-1999 |
| | | AU 7685198 A | 08-12-1998 |
| | | CN 1255237 T | 31-05-2000 |
| | | EP 0995227 A | 26-04-2000 |
| | | US 6013567 A | 11-01-2000 |
| | | US 6033974 A | 07-03-2000 |
| | | US 5985742 A | 16-11-1999 |
| | | US 6010579 A | 04-01-2000 |